

the communication premises of the industrial buildings where some building constructions in the way of movement are destroyed, others remain practically unchanged. The physical model of the formation and distribution of shock wave in communication premises as in the channel with walls of varying rigidity is proposed. It is shown that if one of the channel walls is easily deformed, then it causes turn of the main shock wave to this wall and the pressure increase that may lead to destruction of the wall portion. But simultaneously with it, the geometry of the plane front of the main shock wave is disturbed, and the zone of the length of 4–8 typical dimensions of the channel cross section is required for the formation of a new planar front. Therefore, the passage of a shock wave through the length of the corridor, the wall with lower rigidity is destroyed fragmentarily. The proposed physical model may be used to construct an algorithm of numerical calculation of shock wave propagation in a channel with walls of different rigidity. On the basis of the considered physical model, a way to increase safety in communication premises where a shock wave may propagate, is proposed. For this, easily droppable constructions should be placed along the communication premises at intervals of 4–8 dimensions of these premises width.

Keywords: physical model, shock wave, communications premises, explosion hazard, easily droppable construction.

УДК 614.841

В. Н. Сырых, доцент Национального университета гражданской защиты Украины, кандидат технических наук, доцент,

А. В. Васильченко, доцент Национального университета гражданской защиты Украины, кандидат технических наук, доцент

АНАЛИЗ ОПАСНОСТИ ПРИ ВЗРЫВЕ МЕТАНОВОГО БАЛЛОНА

Рассмотрены особенности взрыва 50-ти и 80-литровых метановых баллонов при различных эксплуатационных температурах. Рассчитаны параметры взрывов метановоздушной смеси: радиус огненного шара, скорость его распространения, количество выделившейся тепловой энергии. Проанализирована пожарная опасность при повреждении метановых баллонов автотранспортных средств.

Ключевые слова: метан, баллон, метановоздушная смесь, взрыв.

В Украине в последнее время наблюдается значительный рост использования метановых газовых баллонов для газотопливных систем транспортных средств. Метан используется как альтернативное топливо для автомобилей благодаря дешевизне и стабильным показателям качества. Хранится он в сжатом виде в металлических, металлопластиковых или композитных баллонах объемом от 25 до 80 л.

При интенсивной и длительной эксплуатации баллоны могут повреждаться в результате коррозии и механических воздействий, а также из-за ослабления контроля за их состоянием при эксплуатации, что может послужить

жить причиной взрыва баллонов и возникновения пожара.

Опыт эксплуатации газовых баллонов со сжатым метаном на автомобильном транспорте показывает, что наиболее опасная операция – заправка газовых баллонов на газозаправочном узле¹. Именно в этот момент зафиксированы взрывы метановоздушной смеси с последующим повреждением пожаром оборудования и строительных конструкций (см. рисунок).

В связи с тем, что состояние баллонов не всегда можно надежно определить, актуальной проблемой становится оценка опасности при взрыве метанового баллона газотопливной системы транспортного средства в аспекте возникновения ударной волны и создания условий для возникновения пожара.

Прогнозированию и исследованию последствий аварийных взрывов, которые случаются при возгорании газозвушних смесей на производствах, посвящена монография С. И. Таубкина². При этом в качестве основных показателей последствий аварийных взрывов рассматриваются ожидаемый характер и объем разрушения строительных конструкций и зданий (сооружений). В этой работе, наряду с другими вопросами, рассмотрены особенности эксплуатации метановых баллонов на автотранспорте и основные требования к их безопасному применению.



Рисунок. Повреждения в результате взрыва метановоздушной смеси автотранспортных средств и строительных конструкций на многотопливном автозаправочном комплексе

¹ См.: Газобаллонные автомобили : справочник / [А. И. Морев, В. И. Ерохов, Б. А. Бекетов и др.]. — М. : Транспорт, 1992. — 175 с.

² См.: Таубкин С. И. Пожар и взрыв, особенности их экспертизы / С. И. Таубкин. — М. : ВНИИПО МВД России, 1999. — 600 с.

Для определения требований по обеспечению безопасности при возможных взрывах баллонов со сжатым метаном, установленных на автомобилях, необходимо уточнить ожидаемый масштаб повреждений сооружений и оборудования.

Задачей статьи является анализ опасности возникновения ударной волны и возможности возгорания веществ и строительных материалов при взрыве метанового баллона газотопливной системы транспортного средства.

Взрыв баллона, в котором под давлением находится метан, относится к комбинированным взрывам, сопровождающимся выделением энергии в результате последовательного протекания физического и химического взрывов, работа которых полностью или частично суммируется. При этом физические процессы разрушения корпуса баллона и выделения энергии сопровождаются выбросом в окружающее пространство газа с образованием метановоздушного облака (огненного шара), которое быстро сгорает. Температура в зонах возникновения этих явлений превышает температуру воспламенения почти всех горючих веществ.

Образование и быстрое горение метановоздушного облака свойственно для дефлаграционного процесса, который характеризуется низкой генерацией волны давления. При скорости распространения пламени менее 45 м/с, как отмечено в указанной работе С. И. Таубкина, ударная волна вообще не возникает.

Для выявления пожарной опасности горения метановоздушного облака нужно сравнить такие параметры, как количество выделившейся энергии, радиус распространения облака и радиус огненного шара, с показателями пожарной опасности веществ и материалов, составляющих пожарную нагрузку автотранспортных средств и окружающих строительных конструкций.

Для расчета указанных параметров горения метановоздушного облака были обобщены методы, использовавшиеся в ранее опубликованных работах¹. Определив количество метана m_g , вышедшего наружу при разрушении баллона, по формуле

$$m_g = V_g \cdot \rho_g, \quad (1)$$

где V_g и ρ_g – соответственно, объем и плотность газа метана, поступившего в окружающую среду при разрушении баллона при известной температуре окружающей среды, можно рассчитать массовый нижний концентрационный предел распространения пламени метана (ϕ_{lm}), кг/м³:

$$\phi_{lm} = \phi_{lv} \frac{M}{100 \cdot V_l}, \quad (2)$$

где ϕ_{lv} – объемный нижний концентрационный предел распространения пламени по метановоздушной смеси, $\phi_{lv} = 5,28\%$; M – молярная масса мета-

¹ См.: Таубкин С. И. Указ. работа; Тарахно О. В. Теоретичні основи пожежовибухонебезпеки : підручник / О. В. Тарахно. — Х. : АЦЗУ, 2006. — 395 с.; Тарахно О. В. Проблемні питання дослідження вибухів газоповітряних сумішей при проведенні пожежно-технічних експертиз / О. В. Тарахно, В. М. Сирих, Р. В. Тарахно // Проблеми пожежної безпеки. — Х. : УГЗУ, 2009. — Вып. 25. — С. 175–180.

на $M = 16,04$ кг/кмоль; V_t – об'єм, який займає моль газу метану при температурі t , °С.

Об'єднане кількість енергії, виділеної при згорянні метану внаслідок руйнування балона (Q_{sum} , МДж), дорівнює:

$$Q_{sum} = m_g \cdot Q_{lm}, \quad (3)$$

де Q_{lm} – масова низша теплота згоряння метану, МДж/кг.

Радіус зони, утвореної при витоку метану з руйнованого балона (R_{gz} , м) дорівнює:

$$R_{gz} = 14,56 \left(\frac{m_g}{\rho_g \cdot \phi_{lv}} \right)^{0,33}, \quad (4)$$

де ρ_g – густина газу метану при температурі t °С, кг/м³.

Радіус вогненного кулі (R_{fs}), м:

$$R_{fs} = 2,66 \cdot m_g^{0,327}. \quad (5)$$

Час існування вогненного кулі (τ_{fs}):

$$\tau_{fs} = 0,92 \cdot m_g^{0,303}. \quad (6)$$

В табл. 1 наведено результати розрахунку параметрів дефлаграційного вибуху при руйнуванні балонів з стиснутим метаном об'ємом 50 і 80 л при різних температурах. Робоче тиск метану в посудині 200 кгс/см².

Згідно з довідковими даними,¹ газ метан має наступні характеристики: максимальна температура пламени при згорянні метану – 1957 °С; нормальна швидкість розповсюдження пламени по метановоздушній суміші – 0,34 м/с; температура самовоспалення – 537 °С; максимальне тиск вибуху – 706 кПа; максимальна швидкість наростання тиску – 18 МПа/с; теплота згоряння – 49,8 МДж/кг, мінімальна енергія запалювання – 0,28 мДж.

Таблиця 1

Параметри дефлаграційного вибуху при руйнуванні 50-ти і 80-літрових балонів з стиснутим метаном при різних експлуатаційних температурах

Найменування	Баллон 50 л			Баллон 80 л		
	20 °С	0 °С	-20 °С	20 °С	0 °С	-20 °С
Кількість енергії (Q_{sum}), виділеної при згорянні метану, МДж	415	463	543	664	741	879

¹ См.: Пожаровзрывоопасность веществ и материалов и средств их тушения : справочное изд. : в 2-х кн. / [А. Н. Баратов, А. Я. Корольченко, Г. Н. Кравчук и др.]. — М. : Химия, 1990. — Кн. 1. — 496 с. — Кн. 2. — 384 с.

Окончание табл. 1

Наименование	Баллон 50 л			Баллон 80 л		
	20 °С	0 °С	-20 °С	20 °С	0 °С	-20 °С
Радиус зоны (R_{gc}), образовавшейся при утечке метана, м	19,35	19,59	20,22	22,60	22,89	23,62
Радиус огненного шара (R_{fs}), м	5,32	5,515	5,81	6,21	6,43	6,80
Время существования огненного шара (τ_{fs}), с	1,75	1,81	1,9	2,02	2,09	2,20

Результаты расчета параметров поражения огненным шаром, который образуется при сгорании метановоздушной смеси, показывают следующее. Огненный шар радиусом 5,32–6,80 м с температурой до 1957 °С (максимальная температура сгорания метана) в течение 1,75–2,20 с образуется и непосредственно контактирует со строительными конструкциями и оборудованием (скорость распространения до 3 м/с).

В табл. 2 приводятся показатели пожарной опасности некоторых веществ и материалов, составляющих пожарную нагрузку автотранспортных средств и строительных конструкций.

Таблица 2

Показатели пожарной опасности веществ и материалов, составляющих пожарную нагрузку автотранспортных средств и строительных конструкций

Материал	Температура воспламенения, °С	Температура самовоспламенения, °С	Минимальная энергия воспламенения, E_{min} , мДж
Лакокрасочные покрытия	250	400	–
Стеклопластик	250	480	–
Каучук синтетический (шины)	220	400	50
Пенополиуретан	440	480	20
Полиэтилен в изделиях	310	420	630
Масла	150	350	–

Сравнивая показатели пожарной опасности газа метана и составляющих пожарной нагрузки транспортных средств и строительных конструкций можно констатировать, что тепловой энергии, которая выделяется при сгорании метановоздушной смеси, достаточно для возгорания веществ и строительных материалов, которые на момент взрыва находились на данном транспортном средстве.

Опасное в пожарном отношении повышение температуры наблюдается при ударах твердых тел во время их взаимного перемещения. При взрывном разрушении стального баллона вероятны сильные удары об него твердых тел, способные вызвать образование искр, которые представляют собой раскаленную до свечения частичку металла или камня. Температура искр металлов находится в пределах температуры их плавления, около 1500 °С. Как уже указывалось, температура самовоспламенения метана равна $T_{\text{св}} = 537$ °С. Таким образом, при разрушении стального баллона образовавшиеся искры могут стать источником воспламенения метановоздушного облака.

На основании изложенного можно сделать следующий вывод: при разрушении стального баллона со сжатым метаном образуются метановоздушное облако радиусом до 23,6 м и искры, которые могут вызвать дефлаграционный взрыв с возникновением огненного шара радиусом до 6,8 м. В связи с относительно небольшой скоростью распространения огненного шара (до 3 м/с) ударная волна не возникает, но тепловой энергии, выделяющейся при сгорании метановоздушной смеси, достаточно для возгорания веществ и строительных материалов, которые на момент взрыва находятся в зоне ее влияния.

Выявленные особенности динамики взрыва баллонов со сжатым метаном должны учитываться в системе обеспечения пожарной и техногенной безопасности объектов, на которых они эксплуатируются.

АНАЛІЗ НЕБЕЗПЕКИ ПРИ ВИБУХУ МЕТАНОВОГО БАЛОНА

Сирих В. М., Васильченко О. В.

Розглянуто особливості вибуху 50-ти і 80-літрових метанових балонів при різних експлуатаційних температурах. Розраховано параметри вибухів метаноповітряної суміші: радіус вогненої кулі, швидкість її поширення, кількість теплової енергії, що виділилася. Проаналізовано пожежну небезпеку при пошкодженні метанових балонів автотранспортних засобів.

Ключові слова: метан, балон, метаноповітряна суміш, вибух.

HAZARD ANALYSIS FOR EXPLOSION OF THE METHANE BALLON

Syrh V. M., Vasylichenko O. V.

The features of methane 50 and 80-liters balloons explosion at different operating temperatures are considered. The hazard for the explosion of methane balloon of vehicle gas fuel system in the aspect of the shock wave emergence and creation of conditions for the outbreak of fire is estimated. It's shown that explosion of a cylinder, in which methane is under pressure, is referred to combined explosions. These explosions are accompanied by release of energy as a result of sequential flow of physical and chemical explosions, whose work is wholly or partly summarized. The emergence and rapid combustion of methane-air cloud is inherent to the deflagration process which is characterized by a low generation of pressure wave. The parameters of methane-air mixtures explosions: radius of fireball, speed of its spread, amount of the released thermal energy are calculated. Fire hazard in the case of vehicles methane balloons damage is analyzed. It's concluded that during the destruction of the steel balloon with compressed methane, methane-air cloud

of radius up to 23.6 m and sparks which may cause a deflagration explosion with the emergence of the fire ball with a radius up to 6.8 m, are formed. In connection with the relatively low rate of the fireball spread, shock wave does not appear but the heat energy which is released during the combustion of methane-air mixture, is sufficient for ignition of substances and building materials which are in the zone of its influence at the time of the explosion. The revealed features of the explosion dynamics of balloons with compressed methane should be taken into account in the system of maintenance of fire and technological safety of facilities at which they are exploited.

Keywords: methane, balloon, methane-air mixture, explosion.

УДК 343.98

В. В. Сабадаш, провідний судовий експерт Харківського НДІСЕ, кандидат технічних наук, доцент

ОСОБЛИВОСТІ СУДОВО-ЕКСПЕРТНОГО ДОСЛІДЖЕННЯ ПЕРЕВИЩЕНЬ НОРМАТИВІВ ГРАНИЧНОДОПУСТИМИХ ВИКИДІВ ЗАБРУДНЮЮЧИХ РЕЧОВИН

Розглянуто методичні підходи до проведення судової інженерно-екологічної експертизи при дослідженні перевищень нормативів граничнодопустимих викидів забруднюючих речовин зі стаціонарних джерел на підприємстві для підтвердження факту правильності їх характеристик і вихідних даних, прийнятих для розрахунку розмірів (величини) відшкодування збитків, заподіяних державі.

Ключові слова: судова інженерно-екологічна експертиза, природоохоронне законодавство, граничнодопустимі викиди, забруднюючі речовини, відшкодування збитків.

Забруднення атмосферного повітря особливо у великих містах є однією з найсерйозніших екологічних проблем сучасної України, а однією з причин такого забруднення є недотримання екологічних нормативів у галузі охорони атмосферного повітря. На фоні недостатньої еколого-правової грамотності не тільки працівників підприємств, а іноді й інспекторів Державної екологічної інспекції України (далі – ДЕІ), актуальними є питання про підтримку екологічної рівноваги та забезпечення екологічної безпеки, сталого розвитку суспільства, оскільки це є важливим завданням держави. Одним з інструментів для виконання цього завдання є судова інженерно-екологічна експертиза (СІЕЕ).

Основними правовстановлюючими документами в галузі охорони атмосферного повітря є закони України «Про охорону навколишнього природного середовища» та «Про охорону атмосферного повітря».

Предметом СІЕЕ є фактичні дані та обставини про факт перевищення нормативів граничнодопустимих викидів (ГДВ) забруднюючих речовин зі стаціонарних джерел на підприємстві.